

寒区山岭公路隧道设计

王 勇¹ 孙彩红²

(1. 中交公路规划设计院有限公司, 北京 100088; 2. 中国京冶工程技术有限公司, 北京 100088)

【摘要】 以某寒区公路隧道为背景, 介绍了隧道工程建设条件、总体设计、结构设计及计算、不良地质处理、防水保温等内容, 从而为类似寒区隧道设计施工提供一定的依据和指导。

【关键词】 寒区; 公路隧道; 设计

【中图分类号】 TU94

【文献标识码】 A

doi:10.3969/j.issn.1007-2993.2012.02.011

Design for Highway Tunnel in Cold Region

Wang Yong¹ Sun Caihong²

(1. CCCC Highway Consultants Co. Ltd, Beijing 100088, China;

2. China Jingye Engineering Co. Ltd, Beijing 100088, China)

【Abstract】 Taking some highway tunnels in cold regions as background, The author introduced relevant construction conditions, structure designs and related calculations. And the special plans on water-proof, drainage and thermal insulation systems. It intend to offer guidances and references for similiar projects.

【Key words】 cold region; highway tunnel; design

0 工程概况

日月峡隧道是黑龙江鹤哈高速公路伊春至绥化段的一部分, 为分离式双向四车道中隧道, 左、右洞各长 960 m、930 m。隧道洞身为中低山地貌, 两端地势较缓, 洞身岩性主要为花岗岩。隧道区沿线海拔在 270~415 m 之间, 洞身最大埋深 107 m。本隧道采用的主要技术标准如下:

- 1) 公路等级: 高速公路
- 2) 隧道设计速度: 100 km/h
- 3) 隧道建设规模: 分离式双洞、双向四车道
- 4) 隧道建筑限界: 宽 10.5 m, 高 5.0 m
- 5) 隧道路面横坡: 2%
- 6) 隧道设计纵坡: $\leq 3\%$
- 7) 汽车荷载等级: 公路—I 级
- 8) 抗震设防等级: VI 度

1 建设条件

1.1 地质构造及地层岩性

隧址区属新华夏构造体系伊春-延寿地槽褶皱系 IV、茂林-木兰地槽褶皱、五星-关松镇中间隆起带, 地质构造形式多样化。地表为第四系坡积、冲积

层, 厚度约 3~10 m。基岩为风化程度不等的花岗岩, 节理裂隙较发育, 倾角 $70^\circ\sim 80^\circ$ 。

1.2 水文地质条件

隧道所经区域水系发育, 主要河流为呼兰河支流-依吉密河。本区沼泽、湿地分布较广, 地表积水、地下水位较高。地下水蕴藏较丰富, 主要有第四系松散砂砾石层孔隙潜水及花岗岩和变质岩裂隙水, 上部潜水层由低液限粘土及砂土覆盖, 水位埋深 1~15 m 不等, 给水主要来自大气降水。沿线水质均为低矿化淡水, 对混凝土无腐蚀性。

1.3 气象条件

隧址区属于北温带大陆性季风气候, 冬季漫长、干燥、严寒, 年平均气温 2.8°C , 最冷月平均气温为 -23.9°C , 极端最低气温 -43.1°C , 年平均降雨量为 801 mm, 年最大积雪厚度为 40 cm。隧址区属季节性冻土区, 平均最大冻土深度为 2.3 m。

2 隧道总体设计

2.1 平纵面设计

隧道平面服从路线总体布设要求, 同时为便于施工和营运通风、管理, 洞身平面线形采用直线, 能

够和洞外接线协调一致,满足路线总体布设的安全性、功能性和协调性要求。受两端接线标高限制,左、右线隧道纵断面均采用人字坡,左洞为 1.2%/1 270 m 接 -2.65%/760 m,凸曲线半径 $R=17\ 142.857\text{ m}$ 。右洞为 1.2%/1 280 m 接 -2.45%/760 m,凸曲线半径 $R=17\ 534.247\text{ m}$ 。

2.2 建筑限界与内轮廓设计

根据《公路隧道设计规范》(JTG D70—2004)^[1],建筑限界高度为 5 m,宽度 $10.5\text{ m}=0.75\text{ m}$ (左侧检修道宽度)+ 0.5 m (左侧向宽度)+ $2\times 3.75\text{ m}$ (行车道宽度)+ 1.0 m (右侧向宽度)+ 0.75 m (右侧检修道宽度)。人行横通道建筑限界宽度为 2 m,高度为 2.5 m。

经对衬砌受力、造价等因素比较,内轮廓采用半径 $R=558\text{ cm}$ 的单心圆,净空面积为 65.73 m^2 。人行横通道采用直墙拱形内轮廓。内轮廓设计图见图 1。

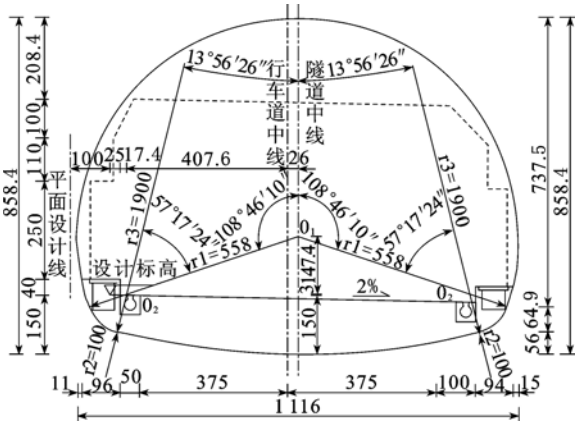


图 1 内轮廓设计图

3 隧道结构设计

3.1 洞口洞门设计

隧道洞口位置选择综合考虑地形、地貌、地质的影响及路线总体要求,结合洞口排水及边坡稳定的要求,遵循“早进洞、晚出洞”的原则,控制边、仰坡高度,减少对地表植被的破坏和隧道运营期间的冻融病害。伊春端和绥化端分别采用明洞式和削竹式洞门,结构简洁、实用,与洞口地形地势、周边环境协调一致,并能有效承受反复冻融、减少隧道结构病害、降低运营管理费用。削竹式和明洞式洞门设计图见图 2 和图 3。

3.2 衬砌结构设计

考虑到寒区隧道^[2]的特点,明洞及浅埋洞口段衬砌采用抗冻胀防水混凝土,提高混凝土强度等级、严格控制混凝土配比、添加剂含量,做到自密实、少干缩裂纹、抗冻融能力强。同时确保明洞回填土厚度(大

于平均最大冻深 2.3 m)和回填层顶面排水通畅,不积水、不积雪。明洞段采用曲边墙钢筋混凝土衬砌。明洞基底位于多年平均最大冻深以下,拱顶以上至少回填 2.3 m 厚低冻胀力水平的砾石土。

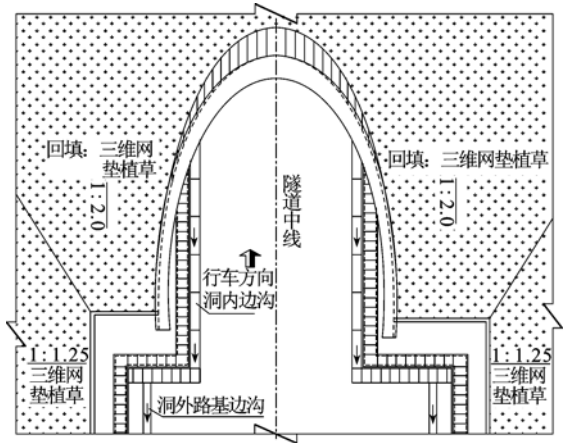


图 2 削竹式洞门设计图

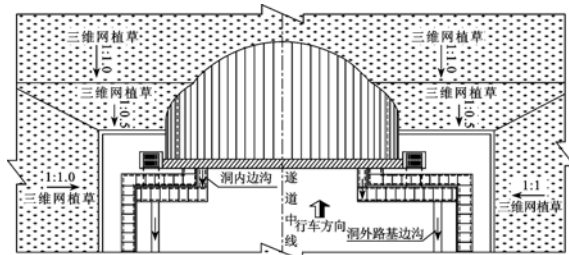


图 3 明洞式洞门设计图

洞身结构按新奥法原理采用复合式衬砌,衬砌支护参数按工程类比法并结合结构计算确定。隧道初支以喷射混凝土、锚杆、钢筋网为主要支护手段,二衬采用 C30 混凝土或钢筋混凝土。隧道各型衬砌支护参数见表 1,复合式衬砌断面设计图见图 4。

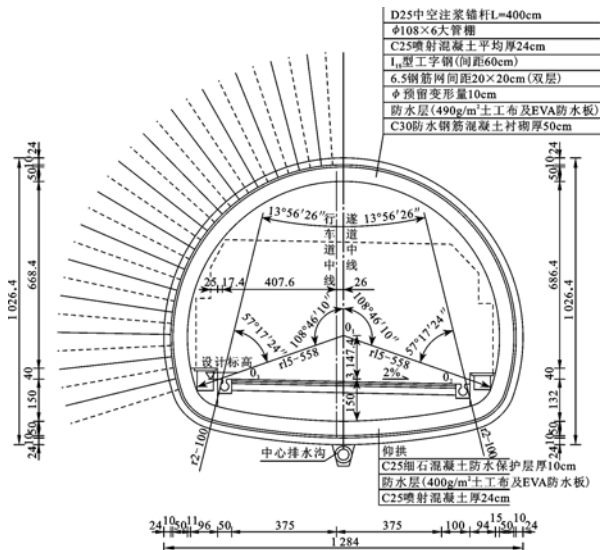


图 4 复合式衬砌典型断面设计图

表1 隧道衬砌支护参数表

衬砌类型	初期支护				预留变形	二衬 C30 砼	辅助施工
	锚杆	钢筋网	C25 喷射砼	钢拱架			
V 级加强	D25 中空注浆锚杆 L=4.0 m 间距 0.6×1.0 m	Φ8 20 cm×20 cm 双层	厚 24 cm (含仰拱)	I18 工字钢 @60 cm (含仰拱)	12 cm	拱部、仰拱 50 cm (钢筋砼)	Φ108 大管棚、 Φ42 超前小导管
V 级普通	D25 中空注浆锚杆 L=3.5 m 间距 0.8×1.0 m	Φ8 20 cm×20 cm 单层	厚 24 cm (含仰拱)	I18 工字钢 @80 cm (含仰拱)	12 cm	拱部、仰拱 50 cm (钢筋砼)	Φ42 超前 小导管
IV 级	D25 中空注浆锚杆 L=3.0 m 间距 1×1.0 m	Φ8 25 cm×25 cm 单层	厚 20 cm	H14 格栅钢架 @100 cm	8 cm	拱部、仰拱 40 cm (素砼)	R25 超前锚杆
III 级	Φ22 砂浆锚杆 L=3.0 m 间距 1.0×1.0 m	Φ8 25 cm×25 cm 单层	厚 12 cm	—	4 cm	拱部 35 cm (素砼)	—
明洞	—	—	—	—	—	拱部、仰拱 60 cm (钢筋砼)	—

3.3 不良地质地段处治措施

1) 洞口浅埋段

隧道进出口地段浅埋且地质条件差,设计采取超前大管棚进行预加固,采用钢筋混凝土衬砌结构形式。结构基础位于弱-微风化基岩中,基底标高低于平均最大冻结线 25 cm。施工中应尽快完成仰拱施作,及早形成封闭承载体系,避免因施工工艺不当导致地面下沉、二衬开裂及拱脚错位^[3]。

2) 对反复冻融的处治

在地层岩性变化较大和岩质较软、承载力较低的地段,考虑到受反复冻融影响易产生结构强度降低、沉降不均、结构损伤致裂、缩短隧道设计寿命,设计中将基础设置在平均最大冻结线以下,且位于具有足够承载力和强度的基岩层内;洞口段明洞设置防水层,再回填至少 2.3 m 厚的低冻胀力砾石土;在岩性变化较大或软弱破碎地段每 20~30 m 左右设置沉降缝;在温差变化较大的洞口段设置伸缩缝。

3.4 衬砌结构计算

结合相关工程资料,洞口段衬砌结构计算在考虑常规围岩荷载的前提下,尚考虑了 0.5 MPa 的冻胀力,按 60% 的释放荷载分担比例,等效集中作用于二衬各节点,采用基于结构力学的荷载结构法对洞口段 V 级围岩二衬结构内力及变形进行计算,并验算其安全性。

由计算知,V 级围岩二衬的内力见图 6、图 7,二衬整个拱圈与边墙均承受压力,最大受压轴力发生在两侧拱脚,数值为 1.5 MN;二衬的最大负弯矩出现

在拱顶,数值为 -257 kN·m;最大正弯矩出现在拱腰,数值为 210 kN·m;二衬最大竖向变形约 1 cm,发生在拱顶,见图 7。

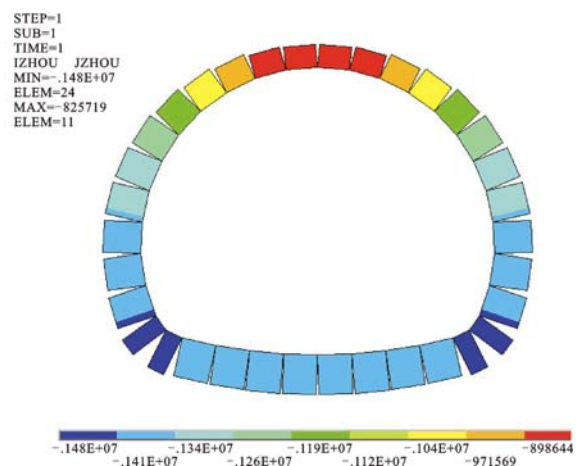


图5 二衬轴力图

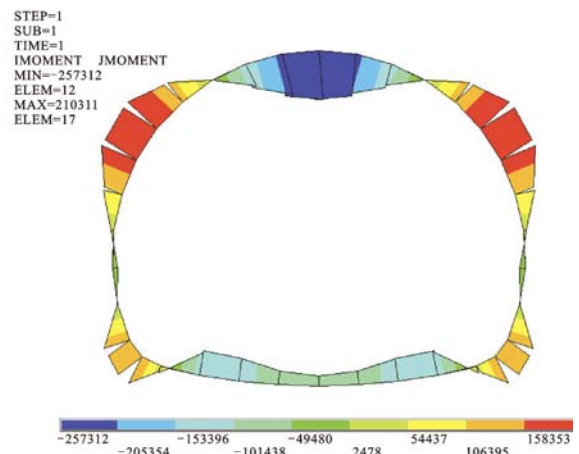


图6 二衬弯矩图

STEP=1
SUB=1
TIME=1
DMX=.009595

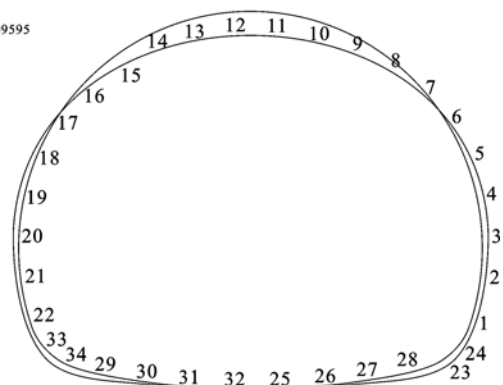


图7 二衬变形图

根据上述内力计算结果计算衬砌结构的安全系数,在对受拉控制单元考虑结构配筋后,二衬钢筋混凝土结构平均安全系数为4.7,单元最小安全系数2.2,所有单元安全系数均能满足规范要求。

4 隧道防排水和保温设计

寒区隧道防排水应贯彻“防、排、截、堵相结合,因地制宜、综合治理”的设计原则。明洞结构在洞口边、仰坡坡顶线外至少5 m处设置截、排水沟,明洞衬砌采用防水钢筋混凝土,其外表面铺设防水板与土工布,顶面夯填厚度不小于50 cm的粘土层。暗洞结构以超前管棚或小导管加固地层为第一道防线,以锚喷支护封闭岩面裂隙形成第二道防线,二衬采用抗渗标号不低于S8的C30混凝土作为最后一道防线。隧道衬砌采用全包防水,铺设400 g/m²无纺布和1.2 mm厚EVA防水板,排水采用深埋中心水沟与环向、横向排水管相结合的方案,中心水沟设置在本区平均最大冻深线以下。沿隧道两侧边墙底部设置贯通全隧的纵向排水管,在纵向排水管与中心排水沟之间设置横向排水管,最终形成立体排水系统,将隧道渗漏水排出洞外。中心水沟出水口采用圆端掩埋式保温设计。

为防止因冻融而出现隧道涎流冰、结构开裂、洞

内冰柱等病害,隧道内装采用隔热保温层+防火层+保护层组成的三层复合结构:

1)隔热保温层:5 cm厚PU(聚胺酯泡沫塑料)型材贴于衬砌表面(行车道侧),材料指标:密度不小于30 kg/m³,吸水率不大于3%,压缩性能不小于15 kPa,导热系数不大于0.027 W/(m·K)。

2)防火及保温复合层:3 cm厚干法硅酸铝纤维板,用膨胀螺丝和压条固定于PU表面。材料指标:容重190 kg/m³,憎水率大于98%,导热系数0.037~0.040 W/(m·K),熔点1760℃,加热收缩率小于4%。

3)保护层:5 mm厚无机玻璃钢。

5 结论

寒区公路隧道的设计中防水保温是关键,只有做好防水保温工作才能保障隧道结构安全、运营正常,为此应特别注意以下几点:

1)合理选择隧道位置,应尽量回避在隧道底板之上有常年性富水地层穿越,回避隧道之上有非多年冻土、且汇水沟槽和洼地位置,选择隧道之上有较大面积多年冻土覆盖的位置。

2)隧道结构宜采用整体式混凝土现浇,结构计算应考虑围岩冻胀力,增大衬砌混凝土强度与防水等级,防止衬砌破裂而渗漏水。

3)设置疏导排相结合的纵横向盲管与保温深埋排水沟或泄水洞及地面防渗为一体的防排水系统。

4)隧道中增设隔热保温层,防止排水通道内水流冻结和衬砌大范围反复冻融带来病害。

参 考 文 献

- [1] JTG D70—2004 公路隧道设计规范[S]. 北京:人民交通出版社,2004.
- [2] 吴紫汪. 寒区隧道工程[M]. 北京:海洋出版社,2003.
- [3] JTG F60—2009 公路隧道施工技术规范[S]. 北京:人民交通出版社,2009.

收稿日期:2012-01-10